

ІННОВАЦІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ

УДК 658.28:665.63:338.44

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА
ПРОЦЕССА РЕКТИФИКАЦИИ СМЕСИ
ВОДА – УКСУСНАЯ КИСЛОТА
ENERGY POTENCIAL USAGE OF WATER-ACETIC ACID
MIXTURE RECTIFICATION PROCESS**

**Рябова И.Б., канд. техн. наук, доцент, Селихов Ю.А., канд. техн. наук, профессор,
Коцаренко Ю.А., канд. техн. наук, профессор, Горбунов К.А., канд. техн. наук, доцент,
Быканов С.Н., канд. техн. наук, доцент, Бабак Т.Г., доцент,
Сиренко Е.В., Горбунова О.В.**

**Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков
Riabova I., Selikhov Yu., Kotsarenko V., Gorbunov K., Bykanov S., Babak T., Sirenko K., Gorbunova O.
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"**

Copyright © 2016 by author and the journal "Scientific Works".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



В работе рассмотрен процесс разделение однородной системы (вода – уксусная кислота) с целью сокращения энергозатрат. Для получения максимального энергосберегающего эффекта была проведена как внешняя так и внутренняя интеграция технологического процесса.

Выполнена оценка расхода тепловой энергии ректификационной установки для разделения смеси вода – уксусная кислота производительностью 1,38 кг/с по исходной смеси концентрацией 35% (масс.). Суммарный расход тепловой энергии до модернизации для горячих утилит 3539 кВт, для холодных утилит 3302 кВт.

ІННОВАЦІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ

Замена дефлегматора парокompрессором сделала возможной трансформацию теплоты паров, выходящих из колонны, повысив температуру конденсации пара с 101 °C до 143 °C. Этот пар использован в качестве греющего агента в кубе колонны (внутренняя интеграция процесса).

Использование метода пинч - анализа позволило осуществить внешнюю интеграцию теплоты ректификационной установки. Подогрев исходной смеси до температуры кипения производится за счет теплоты конденсата паров флегмы и дистиллята и за счет теплоты кубового остатка. Избыточная тепловая энергия от конденсата паров флегмы и дистиллята передается потоку теплофикационной воды, которая подогревается до температуры кипения 95 °C. Теплофикационная вода позволяет утилизировать теплоту для отопления или горячего водоснабжения. Для эффективной рекуперации теплоты применены пластинчатые теплообменники фирмы "Alfa Laval".

В результате комплексной модернизации технологической схемы процесса ректификации смеси вода – уксусная кислота потребление внешних горячих и холодных утилит исключено. Потребления электрической энергии парокompрессором для поддержания работоспособности системы в установившемся режиме 163 кВт.

The paper considers the process of separation of the homogeneous system (water - acetic acid) to reduce energy consumption. For getting the maximum energy-saving effect was carried out as an external and internal integration process.

The estimation of heat energy consumption rectification plant for separating of water - acetic acid mixture productivity of 1.38 kg/sec for the initial mixture concentration of 35 % (wt) done. The total heat energy consumption before modernization is: hot utilities 3539 kW for cold utilities 3302 kW.

Replacing reflux by steam compressor made possible the transformation of vapor heat, leaving out of the column, by increasing the condensation temperature of the steam from 101 °C to 143 °C. This steam is used as a heating agent in the bottom of the column (internal integration process).

The using the pinch analysis method allowed to carry out the rectification plant external heat integration. The heating the initial mixture to the boiling temperature produced by the heat of vapor condensate of reflux and distillate and by bottoms fluid heat. Excess heat from the condensate reflux and distillate vapor transfers to the heating water, which is heated to a temperature of 95 °C. The heating water allows utilize the heat for heating or hot water. For effective heat recovery applied plate "Alfa Laval" heat exchangers

As a result of the complex modernization of the technological scheme of the distillation process, a mixture of water-acetic acid, the consumption of external hot and cold utilities is excluded. The consumption of the steam compressor electrical energy is 163 kW for maintenance system performance at steady regime.

Ключевые слова: ректификация, интеграция, утилиты, составные кривые, технологическая схема.

Keywords: rectification, integration, pinch analysis, utilities, composite curves, technology system.

Формулировка проблемы. Снижение потребления энергии в процессах химической и пищевой промышленности является необходимым условием повышения конкурентоспособности продукции данных отраслей в условиях рыночной экономики. Работы в данном направлении являются актуальными, т.к. известно, что одним из наиболее энергоемких процессов вышеуказанных отраслей промышленности является процесс ректификации, требующий для своей реализации большого количества как горячих, так и холодных теплоносителей [1].

К современным методам энергосбережения можно отнести использование трансформаторов теплоты низкопотенциальных источников энергии [2], методы тепловой интеграции процессов [3], комплексное применение которых может обеспечить наибольший эффект в одной технологической схеме.

В качестве низкопотенциального источника энергии рассматривается пар низкикипящего компонента, выходящий из колонны. Для повышения температуры конденсации такого пара применяют трансформаторы теплоты в виде парокompрессоров или тепловых насосов. После трансформации пар может быть использован в качестве греющего агента в кубе колонны. Таким образом, выполняется «внутренняя» интеграция теплоты в колонне. Теплота материальных потоков, покидающих колонну, может быть использована для «внешней» интеграции. Теплота продуктов разделения в рекуперативных теплообменниках передается исходной смеси, поступающей в колонну [4].

Постановка задачи и ее решение. Объектом исследования является ректификационная колонна для разделения смеси вода – уксусная кислота производительностью 1,38 кг/с. Содержание низкикипящего компонента: в исходной смеси $\bar{x}_F = 35\%$, в дистилляте $\bar{x}_D = 90\%$, в кубовом остатке $\bar{x}_W = 8\%$. Разность температур кипения компонентов смеси составляет 25 °C. В качестве исходной технологической схемы выбрана традиционная схема процесса ректификации [5]. Исходная смесь подается на питательную тарелку после предварительного подогрева греющим паром до температуры кипения 102,9 °C. Подвод тепла в кубе колонны и подогревателе исходной смеси осуществляется греющим паром с давлением $P_{абс} = 0,4$ МПа. Расход греющего пара в подогре-

ІННОВАЦІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ

вателе исходной смеси 0,157 кг/с, в кубе колонны – 1,55 кг/с соответственно. Конденсация паров в дефлегматоре осуществляется за счет сетевой воды, расход которой составляет 36,8 кг/с.

Расход теплоты в процессе при потерях в окружающую среду не более 3 % составляет:

- подогрев исходной смеси $Q_F = 337$ кВт;
- теплота, подводимая в куб колонны $Q_K = 3202$ кВт;
- теплота, отводимая в дефлегматоре, $Q_{Def} = 3083$ кВт;
- теплота, отводимая от дистиллята в холодильнике $Q_{X1} = 142,5$ кВт;
- теплота, отводимая от кубового остатка в холодильнике $Q_{X2} = 177$ кВт.

При решении данной задачи в качестве тепловых потоков, приемлемых для «внутренней» интеграции, были выбраны поток кубовой жидкости в испарителе колонны (холодный поток) и поток пара, покидающего колонну (горячий поток). Для повышения температуры конденсации пара, выходящего из колонны, дефлегматор заменен парокomppressorом. Процесс сжатия пара производился от атмосферного давления с температурой конденсации 100 °С до давления 0,4 МПа, что позволяет повысить температуру конденсации до 143 °С. Для «внешней» интеграции рассмотрены следующие горячие потоки: дистиллят, кубовый остаток, конденсат пара после испарителя колонны, направляющийся в качестве флегмы в верхнюю часть колонны для ее орошения при температуре кипения флегмы в колонне, работающей под атмосферным давлением. Единственный холодный поток, присутствовавший в исходной схеме – поток исходной смеси, нуждающейся в подогреве до температуры кипения перед подачей на питательную тарелку колонны, был дополнен потоком теплофикационной воды, подогрев которой необходимо производить до температуры 95 °С. В качестве метода исследования для данной схемы потоков был выбран метод пинч-анализа. В результате построения составной кривой процесса (рис. 1), состоящей из кривой горячих потоков 1 и кривой холодных потоков 2 при минимальном температурном напоре между потоками $\Delta T_{min} = 7$ °С, было выявлено, что в данном частном случае поставленной задачи возможна полная рекуперация теплоты горячих потоков выбранными холодными потоками.

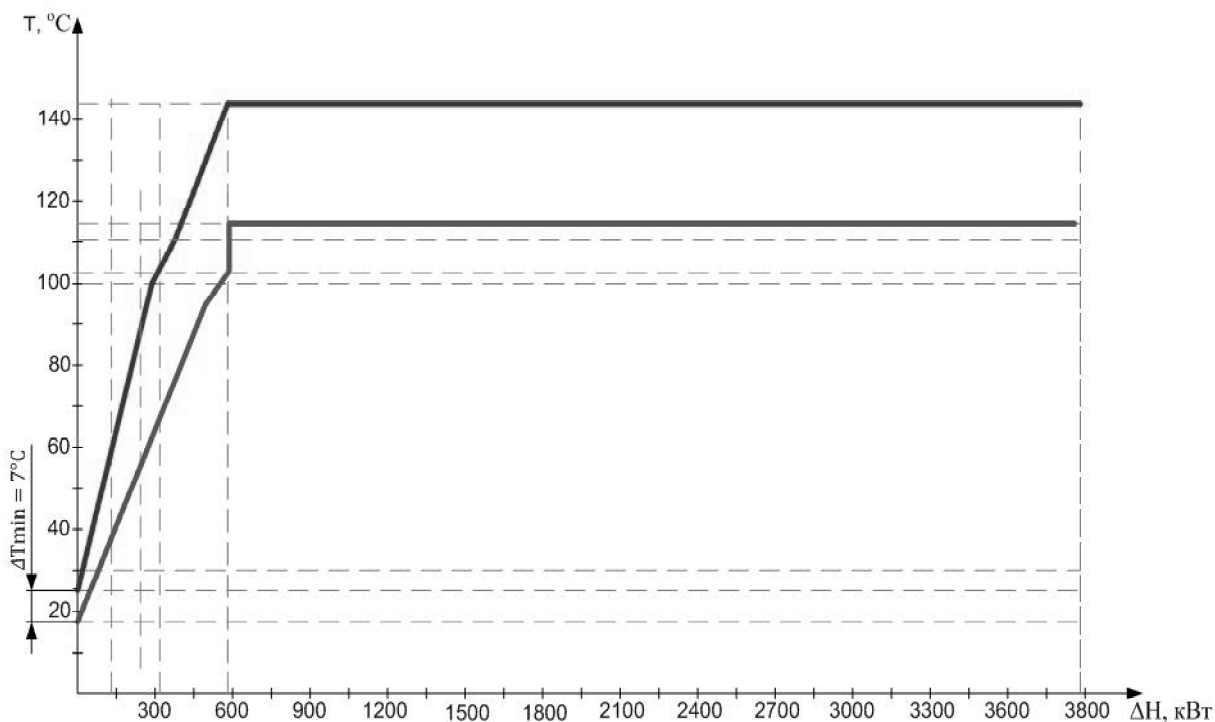


Рис. 1 – Составные кривые процесса ректификации смеси вода – уксусная кислота с сжатием пара низкокипящего компонента в парокomppressorе

На основании расчета, проведенного методом табличного алгоритма и подтверждающего результат о возможности полной рекуперации теплоты в рассматриваемом случае, и сеточной диаграммы сети теплообменных аппаратов, спроектирована модернизированная энергоэффективная схема с полной интеграцией теплоты технологических потоков, приведенная на рис. 2.

ІННОВАЦІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ

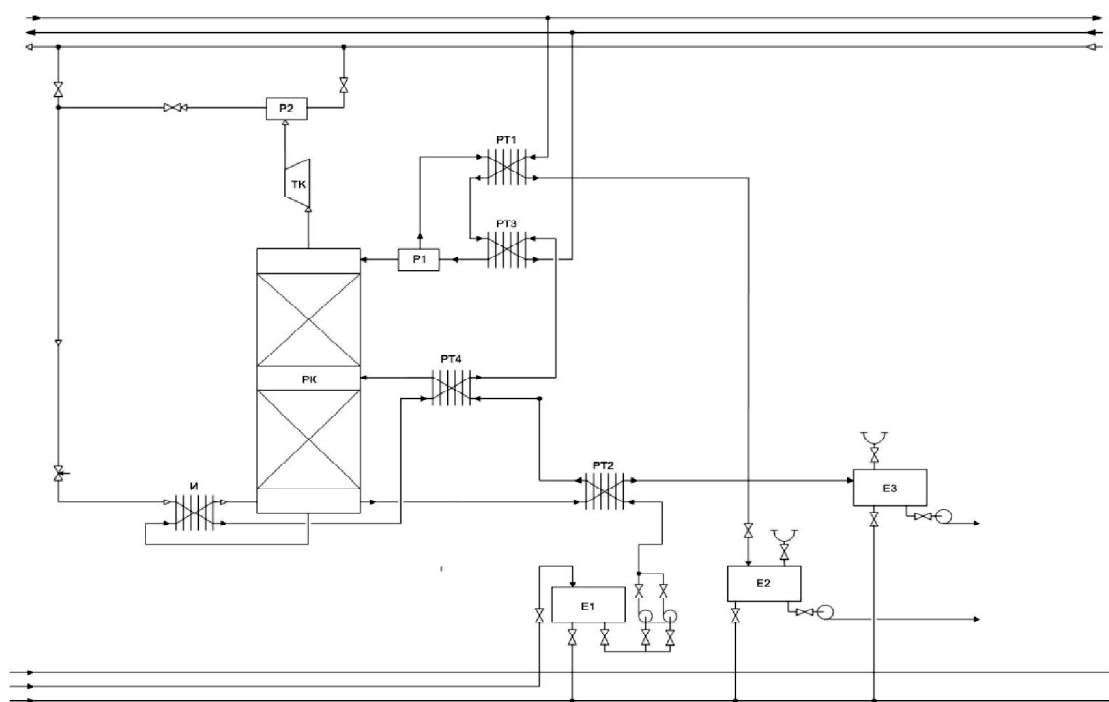


Рис. 2 – Технологическая схема после интеграции

Исходная смесь из емкости E1 подается после предварительного подогрева до температуры кипения в колонну РК. Из схемы видно, что для: подогрев исходной смеси происходит последовательно в теплообменниках PT2 и PT4. Грейущим агентом в теплообменнике PT2 является кубовый остаток, покидающий колонну и направляющийся в емкость E3, и поток конденсата флегмы и дистиллята после выхода из испарителя колонны И. Подогрев теплофикационной воды осуществляется в теплообменниках PT1 и PT3 дистиллятом и конденсатом из испарителя соответственно. После интеграции поток дистиллята направляется в емкость E2. В распределителе P1 происходит разделение потока охлажденного до температуры кипения флегмы потока конденсата из испарителя колонны И на флегму и дистиллят. В данной схеме в режиме непрерывной работы полностью исключено использование греющего пара в количестве 1,707 кг/с и охлаждающей воды в количестве 40 кг/с. Источником энергии, поддерживающим работу установки, является электроэнергия, затрачиваемая на привод турбокомпрессора ТК, потребление которой составляет 163 кВт. Получение теплофикационной воды температурой 95 °С в количестве 0,63 кг/с, позволяет утилизировать избыточную теплоту процесса для горячего водоснабжения или отопления помещений.

Потребление энергии данной технологической схемой связано с использованием электрической энергии для привода турбокомпрессора. Несмотря на высокую стоимость турбокомпрессора, применение такой схемы оказывается выгодным в настоящий момент из-за высокой стоимости энергоносителей. Экономически данное предложение является целесообразным, так как срок его окупаемости составляет не более двух лет.

Выводы. Выполнена комплексная интеграция процесса ректификации смеси вода – уксусная кислота, в результате чего была предложена обновленная энергоэффективная технологическая схема. Применение трансформатора теплоты (парокомпрессора) позволило провести полную «внутреннюю» интеграцию в испарителе колонны, исключив использование греющего пара в кубе колонны в количестве 1,5 кг/с и охлаждающей воды в дефлегматоре в количестве 37 кг/с. Основным является расход электрической энергии, по стоимости существенно меньший, чем стоимость внешних утилит, используемых ранее. Полная «внешняя» интеграция тепловых потоков позволила также отказаться от внешних энергоносителей. Положительным эффектом является поток теплофикационной воды.

Литература

1. Хіміч О.І., Перевертайленко О.Ю., Горбунов К.О., Рябова І.Б. К вопросу комплексной тепловой интеграции процесса ректификации смеси этанол-вода // Наукові праці.– Випуск 41, Т.2.– Одеса: Одеська національна академія харчових технологій.– 2012.– С. 170–173.
2. Лебедев П.Д. Теплообменные, сушильные и холодильные установки. Учебник для студентов технических вузов. Изд. 2-е перераб. – М.: «Энергия», 1972. – 319 с.

ІННОВАЦІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ

3. Смит Р., Клемеш Й., ТОВАЖНЯНСКИЙ Л.Л., КАПУСТЕНКО П.А., УЛЬЕВ Л.М. Основы интеграции тепловых процессов.– Харьков, НТУ «ХПИ», 2000.– 456 с.
4. Nakaiwa M., Ohmori T. Innovation in distillation processes.– “Synthesiology.” English edition, 2009, v.2, No. 1, p. 55–63.
5. ТОВАЖНЯНСКИЙ Л.Л., ГОТЛИНСЬКА А.П. та ін. Процеси та апарати хімічної технології. Підручник. У двох книгах. Книга 2/ Під заг. ред. Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКОГО. – Харків: НТУ «ХПИ», 2007. – 540 с.

References

1. Himich, O.I., Perevertajlenko, O.Yu., Gorbunov, K.O., Ryabova, I.B. (2012) “To the problem of complex heat integration of rectification of water-ethanol mixture”, *Naukovi praci, Vipusk 41, T.2, Odes'ka nacional'na akademiya harchovih tekhnologij*, pp. 170–173.
2. Lebedev, P.D. (1972), *Teploobmennye, sushil'nye i holodil'nye ustanovki. Uchebnik dlya studentov tekhnicheskikh vuzov* [Heat-exchange, drying and refrigeratin apparatuses], 2nd ed., Ehnergiya, Moscow, USSR.
3. Smit, R., Klemesh, J., Tovazhnyanskij, L.L., Kapustenko, P.A., Ul'ev, L.M. (2000), *Osnovy integracii teplovyh processov* [Bases of heat processes integration], NTU HPI, Har'kov, Ukraine.
4. Nakaiwa, M., Ohmori, T., (2009), Innovation in distillation processes, “*Synthesiology.*” *English edition*, , v.2, No. 1, pp. 55–63.
5. Tovazhnyanskij, L.L., Gotlins'ka A.P. et al. (2007), *Procesi ta aparati himichnoi tekhnologii. Pidruchnik* [Pricesses and apparatuses of chemical technology], in L.L. Tovazhnyans'kij (ed.), NTU HPI, Harkiv, Ukraine